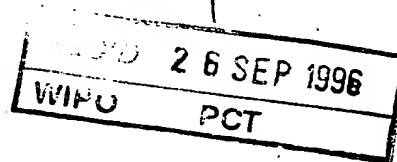


**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

09/043954

**Bescheinigung****PRIORITY DOCUMENT**

Die Werner & Pfleiderer GmbH in Stuttgart/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren zur Durchführung kontinuierlicher  
Aufbereitungsprozesse auf gleichsinnig drehen-  
den, dichtkämmenden Extrudern"

am 29. September 1995 beim Deutschen Patentamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wieder-  
gabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patentamt vorläufig das Symbol  
B 29 C 47/40 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 8. Juli 1996

Der Präsident des Deutschen Patentamts

Im Auftrag

Ebert

Aktenzeichen: 195 36 289.6

BEST AVAILABLE COPY

Verfahren zur Durchführung kontinuierlicher Aufbereitungsprozesse auf gleichsinnig drehenden, dichtkämmenden Extrudern

5

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung kontinuierlicher Aufbereitungsprozesse auf gleichsinnig drehenden, dichtkämmenden Extrudern, wie Doppel-  
10 schnecken- und Mehrwellenschneckenextrudern.

Gleichsinnig drehende, dichtkämmende Doppelschnecken- und Mehrwellenschneckenextruder werden für kontinuierliche Knetprozesse mit oder ohne Aufschmelzung  
15 eingesetzt. Hierbei sind häufig auch kontinuierliche Entgasungs-, Misch- und Expandiervorgänge integriert und in einigen Fällen werden die Extruder auch für Reaktionen eingesetzt.

20 Die verarbeitbaren Produkte umfassen Kunststoffe, Harze, Flüssigkeiten, zähplastische Massen, pulver- und faserförmige Zusatzstoffe sowie Foodmassen. Der Austrag kann beispielsweise über Filter und Formgebungsprozesse, wie Granulierungen oder Profilextrusion, stattfinden.

25

Es sind Extruder der eingangs genannten Art bekannt, bei denen der Schneckendurchmesser bis zu 340 mm beträgt. Die Durchsätze betragen 5.000 bis 35.000 kg/h bei einem Verhältnis Schneckenaußendurchmesser zu Schneckeninnendurchmesser ( $D_a/D_i$ ) von 1,18 bis 1,25 bzw. von 1,4 bis  
30 1,6. Das Verhältnis Drehmoment zu Volumen ( $M_d/a^3$ ) - die sogenannte "Drehmomentdichte" - weist Werte zwischen 5 und 10 auf. Je nach Größe der Extruder werden Drehzahlen von 200 bis 500 Upm - in Ausnahmefällen auch bis 600 Upm -  
35 gefahren.

Die Auslegung der Extruder erfolgt üblicherweise nach dem Prinzip der geometrischen und drehmomentbezogenen Ähnlichkeit. Geometrische Ähnlichkeit besteht, wenn das Verhältnis  $D_a/D_i$  konstant ist; drehmomentbezogene Ähnlichkeit besteht, wenn das Verhältnis  $M_d/a^3$  konstant ist.

Ein maßgeblicher Faktor für die Dispergier-, Misch- und Homogenisierungsgüte des verarbeiteten Produktes ist - neben der Schmelztemperatur und der Verweilzeit - die Schergeschwindigkeit im schmelzegefüllten Schneckenkanal.

Für viele Prozesse gilt, daß die Misch-, Dispergier- und Homogenisierungsgüte umso höher ausfällt, je höher die Schergeschwindigkeit ist. Beim heutigen Stand der Extrudertechnik sind bei Standardaufbereitungsprozessen mittlere Schergeschwindigkeiten im Schmelzebereich von 20 bis 150 1/sec und mittlere Produktverweilzeiten im gesamten Schneckenbereich von 15 bis 60 sec üblich.

Bei herkömmlichen Extrudern werden die mittleren Schergeschwindigkeiten durch die Schneckendrehzahl und die durch das Verhältnis  $D_a/D_i$  dargestellte, sogenannte "Volumigkeit", nach oben begrenzt. Bei steigenden Schergeschwindigkeiten ergeben sich aber auch höhere spezifische Werte der Energieeinleitung, was zu inakzeptabel hohen Schmelztemperaturen führen kann. Zusammen mit großen mittleren Verweilzeiten des Produktes im Extruder kann dies zu qualitätsmindernden Produktschädigungen führen, und zwar hinsichtlich des thermischen Aufbaus und der Vernetzung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, qualitäts-erhöhende mittlere Schergeschwindigkeitsbereiche bis zu

$\geq 1.000$  1/sec bei gleichzeitiger Verkürzung der Einwirkdauer von Temperaturspitzen im Produkt zu realisieren, ohne daß die vorstehend beschriebenen Schwierigkeiten auftreten können.

5

Die gestellte Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der Extruder mit einer Schneckendrehzahl von  $> 600$  Upm bei gleichzeitiger Erhöhung der einleitbaren sogenannten "Drehmomentdichte" ( $M_D/a^3$ ) von mindestens  $11 \text{ Nm/cm}^3$

10 betrieben wird.

Bei der erfindungsgemäß gewählten erhöhten Drehmomentdichte ( $M_D/a^3$ ) von mindestens  $11 \text{ Nm/cm}^3$  kann der Extruder ohne weiteres mit den hohen Schneckendrehzahlen  
15 betrieben werden, ohne daß sich eine unzulässig hohe spezifische Energieeinleitung ergibt. Als weiterer Vorteil ergibt sich ein sehr hoher Produktdurchsatz pro Zeiteinheit.

20 Um noch kürzere Produktverweilzeiten im Extruder zu erreichen, wird in Ausgestaltung der Erfindung der Extruder mit einer Schneckendrehzahl von mindestens  $800$  Upm bei gleichzeitiger Erhöhung der einleitbaren sogenannten Drehmomentdichte ( $M_D/a^3$ ) von mindestens  
25  $11 \text{ Nm/cm}^3$  betrieben.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird der Extruder mit einer Schneckendrehzahl von bis zu  $3.000$  Upm bei gleichzeitiger Erhöhung der einleitbaren sogenannten  
30 Drehmomentdichte ( $M_D/a^3$ ) von bis zu  $15 \text{ Nm/cm}^3$  betrieben. Hierdurch ergeben sich - durch die dann möglichen hohen Durchsätze - besonders niedrige (mittlere) Produktverweilzeiten im Extruder.

Die sich aus den hohen Schneckendrehzahlen und den hohen Produktdurchsätzen ergebenden niedrigen Produktverweilzeiten von 1 bis 10 sec vermindern gleichzeitig die Neigung zum thermischen Abbau oder zur Vernetzung der  
5 Produkte.

Eine Erhöhung der Schneckendrehzahl ist innerhalb bestimmter Grenzen auch ohne eine Erhöhung der Drehmomentdichte ( $M_d/a^3$ ) möglich. Durch die bei jedem  
10 Verfahren vorhandene maximale Obergrenze der spezifischen Energieeinleitung, die der maximal ertragbaren Schmelzetemperatur (ohne daß Produktschäden auftreten) entspricht, wird jedoch die maximale Schneckendrehzahl begrenzt.

15 Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des Verfahrens der eingangs beschriebenen Art werden weitere Anwendungsbereiche erschlossen.

20 So kann das erfindungsgemäße Verfahren beispielsweise auch zum kontinuierlichen Vormischen im Feststoff-Förderbereich und zum Mahlen von grobkörnigen Schüttgütern zu Pulver verwendet werden. Es ist aber auch eine Kombination der beiden vorgenannten Prozesse möglich,  
25 also ein Homogenisierungsprozeß von Feststoffen, der gegenüber dem Homogenisieren in plastischer Phase deutlich weniger Energie benötigt.

Ein Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens bei Reaktionsmaschinen ermöglicht darüber hinaus ein effektives  
30 Vormischen von Monomeren und Katalysator vor der Reaktion<sup>10</sup> der Inkubationszeit.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens  
35 besteht darin, daß beispielsweise Pigmente bei der

Masterbatchherstellung wesentlich besser dispergiert werden können.

Nachfolgend wird die Erfindung mittels graphischer Darstellung erläutert.

Es zeigt Fig. 1 " mittlerer spez. Energieeintrag "

Fig. 2 " Massendurchsatz und mittlere Produktverweilzeit im Extruder "

Versuche nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wurden auf handelsüblichen ZSK - Maschinen ( zweiwelliger Schneckenknetter mit gleichsinnig drehenden, dichtkämmenden Schneckenwellen ) durchgeführt, wobei der Aufbau der Maschine ( Schneckengeometrie, Misch- und Knetelemente ) so belassen wurde, wie dieser bisher für den jeweiligen Kunststoffaufbereitungsprozeß mit üblichen Drehzahlen von 200 - 400 UpM Verwendung fand.

Bei den Versuchen wurden Schneckendrehzahlen von weit über 1000 UpM gefahren und dabei überraschend festgestellt, daß bei gleichzeitiger Erhöhung der eingeleiteten Drehmomentdichte auf 11 - 14 Nm / cm<sup>3</sup> keine wesentliche Erhöhung der Massetemperatur eintritt.

Selbst bei Erhöhung der Massetemperatur ( z.B. PC > 350 °C ) auf unüblich hohe Schmelzetemperatur tritt keine Produktschädigung auf, da durch das erfindungsgemäße Verfahren die Verweilzeiten im Extruder weit unter 10 s liegen.

Figur 1 zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen der Schneckendrehzahl ( Schergeschwindigkeit ) und der spezifischen Energieeinleitung für unterschiedliche Drehmomentdichten  $M_d / a^3$ . Unter der Voraussetzung, daß das verfügbare Drehmoment ausgelastet wird, ergeben sich mit steigender Drehmomentdichte ( bei konstanter Drehzahl ) höhere Durchsätze. Man erkennt, daß aus einer erhöhten Drehmomentdichte kleinere Energieeinleitungen und damit auch kleinere Schmelzetemperaturen resultieren. Andererseits ist zu sehen, daß eine Erhöhung der Schneckendrehzahl zwar generell auch zu einem höheren Massedurchsatz führt, dieser jedoch bei gegebener Drehmomentdichte mit einer erhöhten Energieeinleitung verbunden ist.

In Figur 2 ist die Abhängigkeit zwischen Durchsatz und Verweilzeit dargestellt. Hier wird deutlich, daß mit Zunahme des Durchsatzes die Zeit, während der das Material hohen Temperaturen ausgesetzt ist, deutlich reduziert wird.

Durchgeführte Versuche haben gezeigt, daß auch eine Massetemperatur, die bisherigen Erfahrungen nach zu einer Qualitätsminderung des Produktes führen mußte, bei genügend kurzer Einwirkdauer qualitätsunschädlich ist. Genügend kurze Verweilzeiten lassen sich jedoch nur durch erhöhte Durchsätze erzielen, die wiederum nur durch eine Erhöhung des möglichen Drehmomentes realisierbar sind, da sonst bei gegebener ( hoher ) Drehzahl die Antriebsleistung der Maschine nicht mehr ausreicht.

Aus Figur 1 ist auch ersichtlich, daß auch ohne Erhöhung der Drehmomentdichte eine Drehzahlerhöhung in bestimmten Grenzen möglich ist. Die jedem Verfahren anhängliche maximale Obergrenze der spezifischen Energieeinleitung ( $e_{\text{spez,max}}$  entspricht der maximal ertragbaren Schmelztemperatur ohne Produktschädigung bei einer vorgegebenen Verweilzeit ) begrenzt diese Drehzahl.

Die heute erhältlichen Maschinen weisen in der Regel  $D_g / D_i$  - Werte zwischen 1,4 und 1,6, sowie  $M_g / a^3$  - Werte zwischen 5 und 10 auf. Die Betriebsdrehzahlen betragen je nach Baugröße zwischen 200 und 500 UpM, in Ausnahmefällen auch bis 600 UpM.

Der Durchsatz und die Qualität des compoundierten Produktes hängen dabei von der eingesetzten Schneckenengeometrie, der Drehzahl und dem maximalen Drehmoment der Maschine ab.

Die Compoundierung hat zum Ziel, ein homogenes Endprodukt - in der Regel unter Einarbeitung von Zuschlagstoffen - zu erzielen. Die Zuschlagstoffe und vorhandene Inhomogenitäten müssen daher in der Maschine dispergiert und distributiv eingemischt werden. Zum Zerteilen von Partikeln sind mehr oder weniger große Schubspannungen erforderlich, die über die umgebende Matrix auf die Partikel übertragen werden müssen. Die Schubspannung  $\tau$  ergibt sich nach der Gleichung

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

aus der Viskosität  $\eta$  des Matrixmediums und der dort aufgezwungenen Schergeschwindigkeit  $\dot{\gamma}$ . Ein maßgeblicher Faktor für die Dispergier-,

Misch- und Homogenisierungsgüte des verarbeiteten Produkts ist daher neben der Schmelztemperatur und der Verweilzeit die Schergeschwindigkeit  $\dot{\gamma}$  [1/sec] im schmelzegefüllten Schneckenkanal.

Betrachtet man diese vereinfacht als mittleren Wert aus dem Quotienten Schneckenumfangsgeschwindigkeit / Gangtiefe, so gilt (100 % Füllgrad im Schneckenkanal vorausgesetzt) :

$$\bar{\dot{\gamma}} = \frac{v_u}{h} = \frac{D_s \cdot \pi \cdot n_s}{(D_s - D_I) / 2} \quad (2)$$

oder

$$\bar{\dot{\gamma}} = 2\pi \cdot n_s \cdot \frac{(D_s / D_I)}{(D_s / D_I) - 1}$$

Für viele Prozesse gilt:

Je höher die Schergeschwindigkeit, desto höher ist die Misch-, Dispergier- und Homogenisierungsgüte. Beim heutigen Stand der Extrudertechnik sind bei Standardaufbereitungsprozessen mittlere Schergeschwindigkeiten im Schmelzebereich von 20 1/s bis 150 1/s und mittlere Produktverweilzeiten im gesamten Schneckenbereich von 15 - 60 s üblich.

Bei herkömmlichen Extrudern werden die mittleren Schergeschwindigkeiten wie aus Gleichung (2) ersichtlich, durch die Schneckendrehzahl und die durch  $D_s/D_I$  gekennzeichnete "Volumigkeit" nach oben begrenzt.

Bei steigenden Schergeschwindigkeiten ergeben sich durch die Beziehung

$$\bar{e}_{spec} = \frac{1}{\rho_s} \cdot \bar{n}_{(\dot{\gamma})} \cdot \bar{\dot{\gamma}}^2 \cdot \bar{t} \quad (3)$$

bzw.

$$\bar{e}_{spec} = \frac{1}{\rho_s} \cdot \bar{\eta}_{(V)} \cdot \bar{t} \cdot 4\pi^2 \cdot n_s \cdot \left[ \frac{(D_a / D_1)}{(D_o / D_1) - 1} \right]^2$$

aber auch höhere Werte der spezifischen Energieeinleitung  $e_{spec}$ , was wiederum zu unakzeptabel hohen Schmelzetemperaturen führen kann, da sich die Temperaturerhöhung der Schmelze aus der Gleichung  $\Delta T = e_{spec} / c_p$  berechnet ( $c_p$  = spez. Wärmekapazität). Zusammen mit großen mittleren Verweilzeiten des Produktes im Extruder kann also eine hohe Schergeschwindigkeit auch zu qualitätsmindernden Produktschädigungen (thermischer Abbau oder Vernetzung) führen.

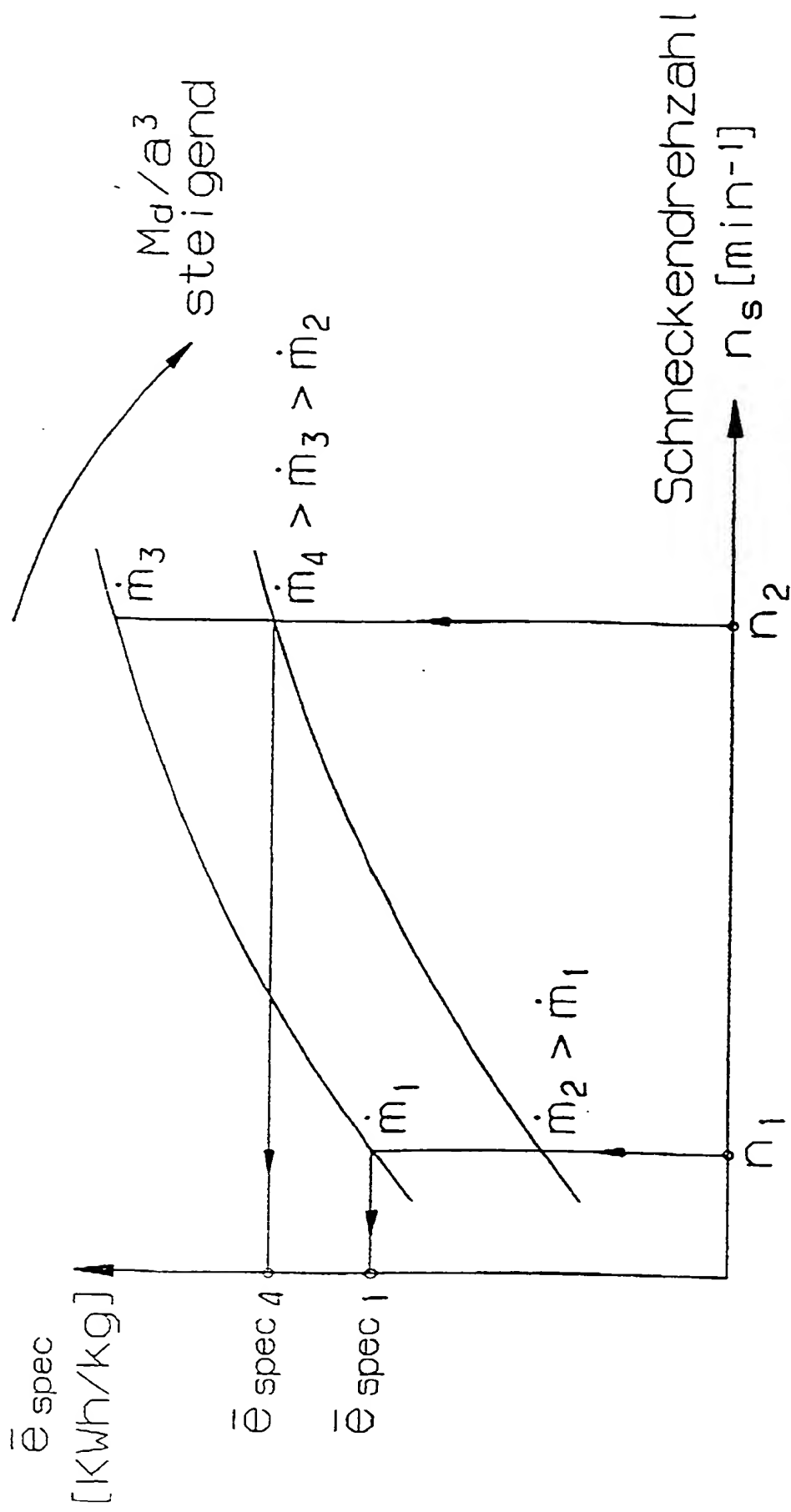
Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, bei gleichsinnig drehenden Doppelschneckenextrudern mit Schneckendrehzahlen von 600 - 3000 UpM zusammen mit der Erhöhung der eingeleiteten Drehmomentdichte auf 11 - 15 Nm / cm<sup>3</sup> können qualitätserhöhende mittlere Schergeschwindigkeiten bis zu 1000 1/s bei gleichzeitiger Verkürzung der Einwirkdauer von Temperaturspitzen im Produkt realisiert werden.

### Verwendete Formelzeichen:

$\bar{e}_{\text{spec}}$	mittlere spezifische Energieeinleitung [ kWh / kg ]
$\bar{t}$	mittlere Verweilzeit des Produkts im Extruder [ s ]
$\rho$	Schmelzedichte [ kg / m <sup>3</sup> ]
$\bar{\gamma}$	mittlere Schergeschwindigkeit [ 1 / sec ]
$\bar{\eta}$	mittlere dynamische Viskosität [ Pa sec ]
$D_a$	Schneckenaußendurchmesser [ mm ]
$D_i$	Schneckeninnendurchmesser [ mm ]
$\bar{h}$	Gangtiefe, gemittelt
$n_s$	Schneckendrehzahl [ min <sup>-1</sup> ] ( [ s <sup>-1</sup> ] )
$M_d$	Wellendrehmoment (bezogen auf 1 Welle ) [Nm]
$a$	Achsabstand der Schneckenwellen [ cm ]
$v_s$	Umfangsgeschwindigkeit der Schneckenwellen [ m / s ]
$M_d/a^3$	Drehmomentdichte, bezogen auf 1 Welle [ Nm / cm <sup>3</sup> ]
$\bar{\tau}$	Schubspannung [ N/mm <sup>2</sup> ]
$c_p$	spezifische Enthalpie [ kJ / kg*K ]
$\dot{m}$	Massendurchsatz [ kg / h ]
$\Delta T$	Massetemperaturerhöhung [ K ]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Durchführung von kontinuierlichen  
Aufbereitungsprozessen auf gleichsinnig drehenden,  
5 dichtkämmenden Extrudern, wie Doppelschnecken- und  
Mehrwellenschneckenextrudern, dadurch gekennzeichnet,  
daß der Extruder mit einer Schneckendrehzahl von  
> 600 Upm bei gleichzeitiger Erhöhung der einleit-  
baren sogenannten "Drehmomentdichte" ( $M_d/a^3$ ) von  
10 mindestens 11 Nm/cm<sup>3</sup> betrieben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
daß der Extruder mit einer Schneckendrehzahl von  
mindestens 800 Upm bei gleichzeitiger Erhöhung der  
15 einleitbaren sogenannten "Drehmomentdichte" ( $M_d/a^3$ )  
von mindestens 11 Nm/cm<sup>3</sup> betrieben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
daß der Extruder mit einer Schneckendrehzahl von  
20 bis zu 3.000 Upm bei gleichzeitiger Erhöhung der  
einleitbaren sogenannten "Drehmomentdichte" ( $M_d/a^3$ )  
von bis zu 15 Nm/cm<sup>3</sup> betrieben wird.



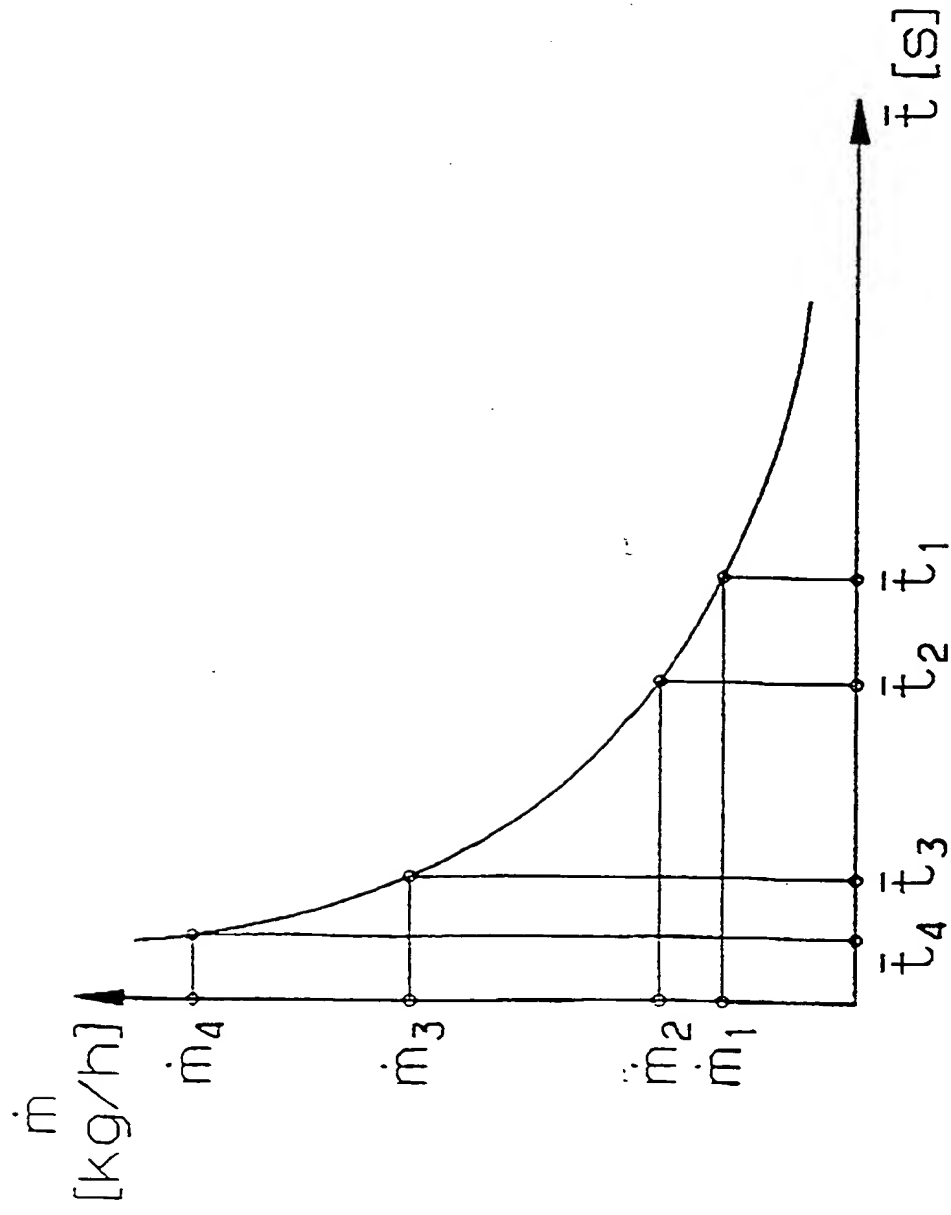
mittlerer spezifischer Energieeintrag

Fig. 1

### Zusammenfassung

Bei einem Verfahren zur Durchführung von kontinuierlichen Aufbereitungsprozessen auf gleichsinnig drehenden, dichtkämmenden Extrudern, wie Doppelschnecken- und Mehrwellenschneckenextrudern, wird der Extruder mit einer Schneckendrehzahl von  $> 500$  Upm bei gleichzeitiger Erhöhung der einleitbaren sogenannten "Drehmomentdichte" ( $M_d/a^3$ ) von mindestens  $11 \text{ Nm/cm}^3$  betrieben.

# Massendurchsatz



mittlere Produktverweilzeit im Extruder

Fig. 2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ ~~FADED~~ TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**This Page Blank (uspto)**